

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-023886

(43)Date of publication of application : 29.01.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/26  
G02B 6/13  
G02B 6/12  
G02B 6/42Machine-Assisted English translation  
of JP 11-023886 provided by  
JPO

(21)Application number : 09-178599

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH  
CORP <NTT>

(22)Date of filing : 03.07.1997

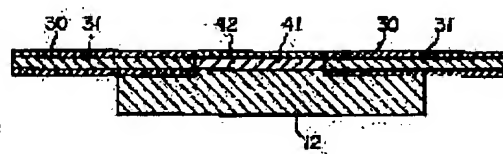
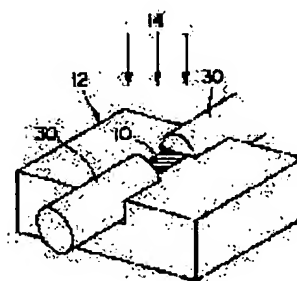
(72)Inventor : IMAMURA SABURO  
TOMARU AKIRA  
KURIHARA TAKASHI

## (54) MANUFACTURE OF OPTICAL ELEMENT

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the manufacture of the optical element which facilitates pattern formation and has superior heat resistance and moisture resistance and low loss.

SOLUTION: A coupling groove 11a is formed in a resin-made platform 12 and at both its ends, mounting grooves 11b and 11b are formed connecting with the coupling groove 11a. Then optical fibers 30 and 30 or an optical fiber 30 and an element are mounted in the mounting grooves. Liquid photosensitive substance 10 is injected into the coupling groove and optically cured to form a core part 41, a clad part 42 is formed covering the core part 41 by using photosensitive substance, and the optical fibers 30 and 30 or optical fiber 30 and element are optically coupled with each other to form a waveguide. In this case, liquid photosensitive oligomer is used as the photosensitive substance.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 02.02.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 22.10.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

## [Claim(s)]

[Claim 1] The process which forms the slot for association in the platform made of resin, and forms the slot for loading in the both sides so that it may connect with said slot for association, Fill the photosensitive matter into said slot for association, carry out photo-curing to the process which carries an optical fiber in said slot for loading in it, and the core section is formed. The manufacture approach of the optical element characterized by being the manufacture approach of the optical element which consists of the process made into the waveguide to which the wrap clad section is furthermore formed in for said core section, and optical coupling of between said optical fibers is carried out, and said photosensitive matter being liquefied photosensitive oligomer.

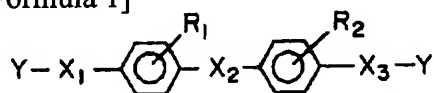
[Claim 2] The manufacture approach of the optical element according to claim 1 characterized by being set up so that the cross-section dimension of said slot for association may have consistency with the core diameter of an optical fiber.

[Claim 3] The manufacture approach of the optical element according to claim 1 or 2 characterized by said optical fibers being a polymer clad optical fiber, a silica glass fiber, and an optical fiber with which it was chosen from plastic optical fibers.



[Claim 4] The manufacture approach of the optical element according to claim 1 or 2 characterized by replacing one side of said optical fiber with a light emitting device or a photo detector.

[Claim 5] The manufacture approach of an optical element given in any 1 term of claims 1-4 characterized by photosensitive oligomer being the epoxy oligomer which has the general formula expressed with following \*\* 1.

## [Formula 1]

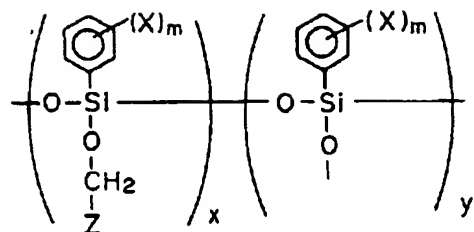


(式中、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>はそれぞれ独立に水素原子、ハロゲン原子、アルキル基、アルコキシ基または、トリフルオロメチル基を示し、X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>はアルキル基、アルキルエーテル基または芳香環を含んでおり、かつ少なくとも一個のOH基を含む連結基を表し、

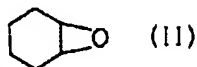
Yは  または  の重合活性基を示す。)

[Claim 6] The manufacture approach of an optical element given in any 1 term of claims 1-4 characterized by photosensitive oligomer being the reactant silicone epoxy oligomer which has the general formula expressed with following \*\* 2.

## [Formula 2]



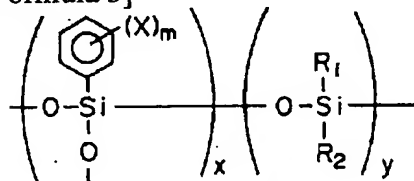
(式中、Xは水素原子、重水素原子、ハロゲン原子、アルキル基またはアルコキシ基を表し、mは1～4の整数を表す。Zは下記式(I)または(II)に示されるエポキシ基である。)



x、yは整数で各ユニットの存在割合を示し、yはxよりも小さく0であってもよい。)

[Claim 7] The manufacture approach of an optical element given in any 1 term of claims 1-4 characterized by photosensitive oligomer being the reactant silicone oligomer which has the general formula expressed with following \*\* 3.

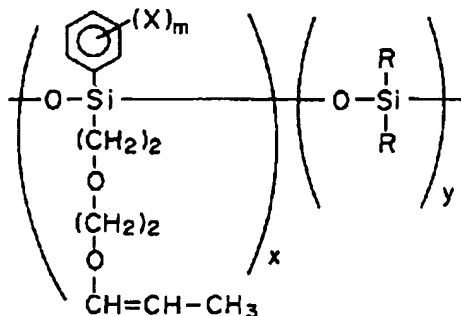
[Formula 3]



(式中、Xは水素原子、重水素原子、ハロゲン原子、アルキル基またはアルコキシ基を表し、mは1～4の整数を表す。 x、yは整数で各ユニットの存在割合を示し、x、yはともに0であることはない。 R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>はメチル基、エチル基またはイソプロピル基を表し、R<sub>1</sub>とR<sub>2</sub>が相等しくてもよい。)

[Claim 8] The manufacture approach of an optical element given in any 1 term of claims 1-4 characterized by photosensitive oligomer being the liquefied silicone vinyl ether oligomer which has the general formula expressed with following \*\* 4.

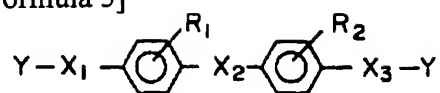
[Formula 4]



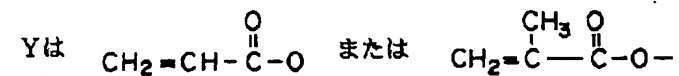
(式中、Xは水素原子、重水素原子、ハロゲン原子、アルキル基またはアルコキシ基を表し、mは1～4の整数を表す。x、yは整数で各ユニットの存在割合を示し、x、yともに0であることはない。 Rはメチル基、エチル基、またはイソプロピル基を表す。)

[Claim 9] The manufacture approach of an optical element given in any 1 term of claims 1-4 characterized by photosensitive oligomer being the acrylic oligomer which has the general formula expressed with following \*\* 5.

[Formula 5]



(式中、 $R_1$ 、 $R_2$ はそれぞれ独立に水素原子、ハロゲン原子、アルキル基、アルコキシ基または、トリフルオロメチル基を示し、 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ はアルキル基、アルキルエーテル基または芳香環を含んでいる連結基を表し、



の重合活性基を示す。)

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention can be used for various optical waveguides, optical integrated circuit, or optical patchboards etc. which are general optics and the microoptics field and are used in the field of optical communication or optical information processing about the optical waveguide which used polymeric materials.

[0002]

[Description of the Prior Art] Examination is activating in the research phase as that with which examination prospers and, as for the optical element used in optical information processing and the optical-communication field, is satisfied of the purpose of the above [ especially an optical waveguide mold component ] in recent years aiming at integration, micrifying, advanced features, and low-pricing. The quartz system optical waveguide device with which it is actually satisfied of these to some extent has come to be put in practical use in a part of optical-communication field. For example, Kawachi A regular husband (presenter), NTT R&D vol.43 No.11 It is indicated by the reference of p.101 (1994).

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, since mounting and an assembly taking a great effort and time amount especially and a complicated dedicated device are, the present condition is having not spread even through a field with various optical elements used as the waveguide mold. Moreover, the present condition is that there is no easy optical element which can be dealt with from the above-mentioned point also at home unlike the handling of the electric associated part which has spread even through ordinary homes since a skillful advanced technique is required for an assembly.

[0004] By the way, although economical efficiency becomes important in an optical device, it is the key factor of cost to connect waveguide, an optical fiber or a light emitting device, and a photo detector. Old connection made the block structure the V groove which sets an optical fiber, waveguide or the light emitting device, and the photo detector, and jogging alignment of these was carried out and it has been performed by fixing so that an optical axis may be in agreement. Moreover, the platform on which these are put is formed and placing and carrying out alignment of the components, such as a light emitting device and a photo detector, later has also been made. However, in these cases, assembly operation is complicated and the cost of materials and a conversion cost become expensive.

[0005] It is shown in this invention being made in view of such the present condition, and the purpose making simple the mounting assembly which is one of the factors of low-pricing of an optical element, and the failure of expansion of the use field, and attaining low-pricing. Moreover, it is in offering the manufacture approach of an optical element that pattern formation is easy, excel in thermal resistance, moisture resistance, etc., and can obtain the optical element of low loss, and connection with optical components is made easily.

[0006]

[Means for Solving the Problem] The process which the summary of this invention forms the slot for association in the platform made of resin, and forms the slot for loading in the both sides so that it may

connect with said slot for association, Fill the photosensitive matter into said slot for association, carry out photo-curing to the process which carries an optical fiber in said slot for loading in it, and the core section is formed. It is the manufacture approach of the optical element which consists of the process made into the waveguide to which the wrap clad section is furthermore formed in for said core section, and optical coupling of between said optical fibers is carried out, and is in the manufacture approach of the optical element characterized by said photosensitive matter being liquefied photosensitive oligomer. [0007] Immobilization of the optical fiber to a slot becoming firm by having used resin as a platform first for the high elasticity and photosensitive oligomer have simple pattern organization potency, and this invention persons are excellent in thermal resistance and moisture resistance, find out that the macromolecule optical waveguide pattern for optical elements with which it is low loss and connection with optical components is made easily can be formed, and came to complete this invention.

[0008]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained.

Drawing 3 is a perspective view for explaining an example of the manufacture approach of the optical element of this invention, drawing 1 is the perspective view showing the platform used for the manufacture approach of the optical element of this invention, drawing 2 is the perspective view showing the condition of having carried the optical fiber in the platform, and drawing 8 is [ drawing 7 is the sectional view showing an example of the optical element concerning the manufacture approach of this invention, and ] the sectional view showing other examples of an optical element. As shown in drawing 1, the platform 12 made of resin at least the example of the manufacture approach of the optical element of this invention on the whole surface For example, the process which forms slot 11a for association in a top-face center section, connects with this slot 11a for association, and forms the slots 11b and 11b for loading in the both sides, The process which carries optical fibers 30 and 30 or an optical fiber 30, and a component 50 in said slots 11b and 11b for loading as shown in drawing 2, As shown in drawing 3, drawing 7, and drawing 8, pour in and carry out photo-curing of the liquefied photosensitive matter 10 to said slot 11a for association, and form the core section 41, and the clad section 42 is formed using the photosensitive matter so that this core section 41 may be covered further. It is the manufacture approach of an optical element including the process which is made to carry out optical coupling of an optical fiber 30 and the component 50 between said optical fiber 30 and 30, and is made into waveguide, and is the manufacture approach of an optical element that said photosensitive matter is liquefied photosensitive oligomer.

[0009] As the optical element concerning the manufacture approach of this invention is shown in drawing 7 and drawing 8, the platform 12 made of resin, Optical fibers 30 and 30 or an optical fiber 30, and a component 50 are joined in one with the hardened material of photosensitive oligomer 10 (association). The hardened material of photosensitive oligomer to the whole surface side of a platform 12 The core section 41, As the clad section 42 is formed on this core section 41 and the light which passed along the core 31 of an optical fiber carries out direct ON light to the core section 41, the light which passed along the core section 41 is the optical element which direct ON light is made to be carried out to the core 31 of an optical fiber.

[0010] In the manufacture approach of this invention, as shown in drawing 1, the platform 12 made of resin in which slot 11a for association and the slots 11b and 11b for loading were formed is prepared. Slot 11a for association is a slot formed for the optical coupling of optical fiber 30 comrades or an optical fiber 30, and a component 50, and is the slots 11b and 11b for loading. It is the slot formed in a \*\*\*\*\* sake in an optical fiber 30 or a component 50.

[0011] A platform 12 is constituted using the resin in which a good adhesive property is shown to the photosensitive matter, for example, an epoxy resin, silicone resin, and acrylic resin. The various producing methods can be used about the slot made of resin. For example, although shaping by the thing and metal mold which are twisted to cutting, such as the thing and saw which combined lithography and etching, and a dicing saw, etc. is typical, the platform producing method should be chosen by the process tolerance, a use application, the amount used, etc.

[0012] Especially as slot 11 for association a, in order to reduce connection loss with an optical fiber 30,

the rectangle structure which can produce the waveguide in consideration of the thickness of the clad section 42 is desirable. For example, when producing straight-line waveguide, the metal mold master 13 as shown in drawing 4 is produced, and a platform with rectangle slot 11a in consideration of the configurations of the rectangle slots 11b and 11b for carrying an optical fiber 30 and the core 31 of an optical fiber can be produced by fabricating based on this.

[0013] In a more complicated pattern configuration, for example, Y branch waveguide production, as shown in drawing 5, it can manufacture using the platform which has Y shape-like slot 11a for association by pouring the solution 10 of photosensitive oligomer into Y shape-like slot 11a for association. The platform which has Y shape-like slot 11a for association can be manufactured by using the metal mold master 13 as shown in drawing 6.

[0014] Although the configuration of slot 11b for loading is determined by the configuration of an optical fiber 30 etc., it is desirable that it is the slot whose cross-section configurations are the shape of V character and a rectangle. Width of face of slot 11b for loading can be set to about 50 micrometers - 5mm, and the depth can be set to about 50 micrometers - 5mm.

[0015] If width of face of slot 11a for association is made smaller than the width of face of slot 11b for loading, it will be easy to carry out positioning of the optical fiber 30 to carry, and will be easy to carry out impregnation of photosensitive oligomer. Although the configuration of slot 11a for association and a dimension are determined by the configuration of an optical fiber 30, a dimension, or the quality of the material, it is desirable that they are a V character-like slot or a rectangle slot, about 3 micrometers - 5mm and depth d can be set to about 3 micrometers - 5mm, and it can set die length to about 5-100mm for the width of face. There is little connection loss that the die length of slot 11a for association is said range, or it is easy to carry an optical fiber, and easy to carry out positioning.

[0016] It is desirable to set up so that the cross-section dimension of slot 11a for association may be adjusted with the path of the core 31 of an optical fiber. The light which penetrated the core 31 of an optical fiber means that it can be made to carry out to the core section 41 direct ON light rather than it carries out direct ON light of the adjustment to the clad section 42.

[0017] An optical fiber 30 is carried at least in one side of slot 11b for loading. As for this optical fiber, it is desirable to be chosen from a polymer clad optical fiber, a silica glass fiber, and a plastic optical fiber. If a polymer clad optical fiber means what constituted the core from quartz glass and constituted the clad from plastics and this optical fiber is used in this invention, an optical element with the description of being easy to connect with the diameter of macrostomia will be obtained. If a silica glass fiber means what constituted the core and the clad from quartz glass and this optical fiber is used, a mass optical element will be obtained. If a plastic optical fiber means what constituted the core and the clad from plastics and this optical fiber is used, an optical element with large reinforcement will be obtained with the diameter of macrostomia.

[0018] If components, such as light emitting devices, such as laser diode (LD), light emitting diode (LED), and light-receiving diode (PD), or a photo detector, are carried in one side of slot 11b for loading, as shown in drawing 8, a component 50 is joined to the end of an optical fiber 30 by the core section 41 and the clad section 42, and the optical element with which the optical fiber 30, the component 50, and the platform 12 are united with the hardened material of photosensitive oligomer can be obtained.

[0019] As a component 50, if laser diode is used, if an optical element with optical large reinforcement uses light emitting diode and light-receiving diode, it will be long lasting, and the optical element of low cost will be obtained.

[0020] Optical fibers 30 and 30 or an optical fiber 30, and a component 50 are put on the slots 11b and 11b for loading, as shown in drawing 3 or drawing 5, the solution 10 of liquefied photosensitive oligomer is poured into slot 11a for association using a syringe etc., and the core section 41 is formed by irradiating ultraviolet rays and hardening them in this oligomer solution 10. Furthermore, on said core section 41, the clad section 42 which has a refractive index lower than the core section 41 by applying and stiffening photosensitive oligomer, such as epoxy oligomer, is formed. Thickness of the clad section 42 can be set to about 15-50 micrometers.

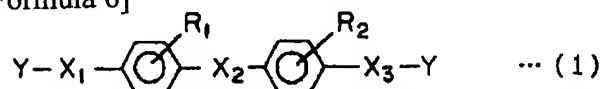


[0021] In this invention, liquefied photosensitive oligomer is used in ordinary temperature as photosensitive matter. By adjustment of a structural constituent, control of an exact refractive index is possible for photosensitive oligomer, and it can acquire the suitable viscosity and ultraviolet-rays hardenability corresponding to the formation process of the core section by adjustment of polymerization degree.



[0022] As photosensitive oligomer (photoresist oligomer), it is desirable that they are silicone system oligomer, such as epoxy form oligomer, such as epoxy oligomer and reactant silicone epoxy oligomer, reactant silicone oligomer, and liquefied silicone vinyl ether oligomer, or acrylic oligomer. As for photosensitive oligomer, it is desirable to have about 200 to 5000 number average molecular weight, and its liquefied thing which has the viscosity of about 100 to 1000 cp (centipoise) by 25-degreeC is desirable. With such viscosity, it is easy to pour into slot 11a for association, and handling is easy.

[0023] As epoxy oligomer, a general formula can use what is expressed with following \*\* 6.

[Formula 6]



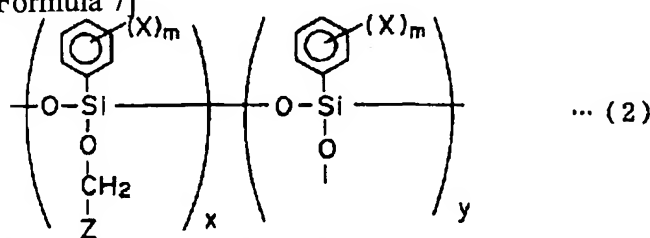
(式中、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>はそれぞれ独立に水素原子、ハロゲン原子、アルキル基、アルコキシ基または、トリフルオロメチル基を示し、X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>はアルキル基、アルキルエーテル基または芳香環を含んでおり、かつ少なくとも一個のOH基を含む連結基を表し、

Yは  または  の重合活性基を示す。)

[0024] Epoxy oligomer is desirable at the point of giving the core section excellent in thermal resistance and moisture resistance. as epoxy oligomer -- R<sub>1</sub> and R<sub>2</sub> -- a hydrogen atom or the alkyl group of carbon numbers 1-5 -- it is -- both X<sub>1</sub> X<sub>2</sub> and X<sub>3</sub> -- although -- what contains the hydroxyl of a piece at least is excellent in an adhesive property with the platform made of resin, including an alkyl ether radical.

[0025] As reactant silicone epoxy oligomer, a general formula can use what is expressed with following \*\* 7.

[Formula 7]



(式中、Xは水素原子、重水素原子、ハロゲン原子、アルキル基またはアルコキシ基を表し、mは1～4の整数を表す。Zは下記式(I)または(II)に示されるエポキシ基である。

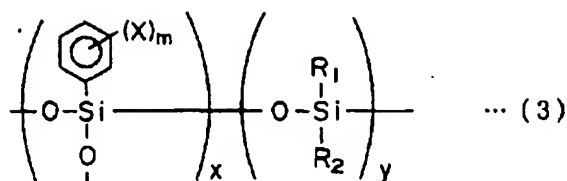


x、yは整数で各ユニットの存在割合を示し、yはxよりも小さく0であってよい。)

[0026] Reactant silicone epoxy oligomer can give the core section excellent in thermal resistance and reinforcement. As reactant silicone epoxy oligomer, that whose X is a hydrogen atom or the alkyl group of carbon numbers 1-5 is desirable at the point of giving the core section excellent in flexibility.

[0027] As reactant silicone epoxy oligomer, a general formula can use what is expressed with following \*\* 8.

[Formula 8]

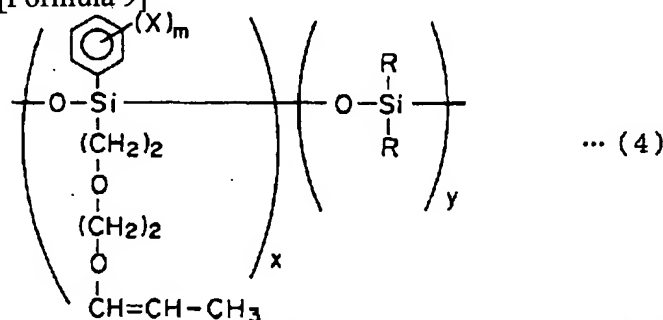


(式中、Xは水素原子、重水素原子、ハロゲン原子、アルキル基またはアルコキシル基を表し、mは1~4の整数を表す。x、yは整数で各ユニットの存在割合を示し、x、yはともに0であることはない。R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>はメチル基、エチル基またはイソプロピル基を表し、R<sub>1</sub>とR<sub>2</sub>が相等しくてもよい。)

[0028] Reactant silicone oligomer can give the core section excellent in thermal resistance and reinforcement. The thing whose X is a hydrogen atom or the alkyl group of carbon numbers 1-5 and both R<sub>1</sub> and whose R<sub>2</sub> are the alkyl groups of carbon numbers 1-5 as reactant silicone oligomer is rich in reactivity, and gives the core section excellent in flexibility.

[0029] As liquefied silicone vinyl ether oligomer, a general formula can use what is expressed with following \*\* 9.

[Formula 9]

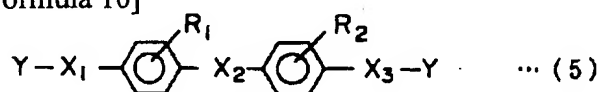


(式中、Xは水素原子、重水素原子、ハロゲン原子、アルキル基またはアルコキシル基を表し、mは1~4の整数を表す。x、yは整数で各ユニットの存在割合を示し、x、yともに0であることはない。Rはメチル基、エチル基、またはイソプロピル基を表す。)

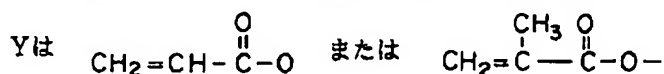
[0030] Liquefied silicone vinyl ether oligomer can give the core section excellent in thermal resistance. The thing whose X is a hydrogen atom or the alkyl group of carbon numbers 1-5 and whose R is the alkyl group of carbon numbers 1-5 as liquefied silicone vinyl ether oligomer is desirable at the point of giving the core section excellent in flexibility.

[0031] As acrylic oligomer, a general formula can use what is expressed with following \*\* 10.

[Formula 10]



(式中、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>はそれぞれ独立に水素原子、ハロゲン原子、アルキル基、アルコキシル基または、トリフルオロメチル基を示し、X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>はアルキル基、アルキルエーテル基または芳香環を含んでいる連結基を表し、



の重合活性基を示す。)

[0032] Acrylic oligomer can be rich in reactivity and can give the core section excellent in transparency. as acrylic oligomer -- both X<sub>1</sub> X<sub>2</sub> and X<sub>3</sub> -- although -- that both R<sub>1</sub> and whose R<sub>2</sub> are the alkyl groups of the hydrogen atom carbon numbers 1-5 including an alkyl ether radical or a ring is desirable at the

point that the core section excellent in flexibility can be given.

[0033] Macromolecule-ization of the aforementioned epoxy form oligomer is performed by carrying out a polymerization by the reaction by the light between the polymerization active groups (epoxy group etc.) contained in the general formula expressed with \*\* 6 and \*\* 7. In order to make a reaction fully cause efficiently, it is desirable to add a photopolymerization initiator. Azo compounds, such as peroxides, such as carbonyl compounds, such as a diphenyl triketone benzoin, benzoin methyl ether, a benzophenone, an acetophenone, and diacetyl, and a benzoyl peroxide, and azobisisobutyronitril, are mentioned as a typical thing that what is necessary is just what is generally used as a photopolymerization initiator as a photopolymerization initiator.

[0034] Macromolecule-ization of the aforementioned silicone system oligomer is based on the reaction of a sensitization agent and oligomer. As a sensitization agent, bis-azide compound diazo compounds, such as azide compound [, such as an azide pyrene ], 4, and 4'-diazido benzalacetone, 2, 6-G (4'-azide benzal) cyclohexanone, 2, and 6-G (4'-azide benzal)-4-methylcyclohexanone, are typical.

[0035] The optical waveguide obtained by this invention is excellent in solvent resistance, and is low guided wave loss and is excellent in thermal resistance and moisture resistance.

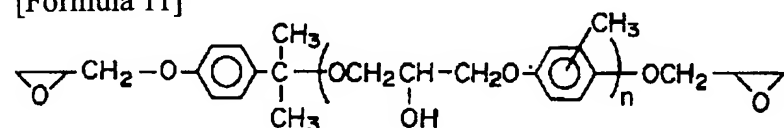
[0036]

[Example] Although an example explains this invention still more concretely, this invention is not limited to these examples.

(Example 1) The optical element shown in drawing 7 as follows was manufactured. In this example, the liquefied epoxy oligomer (the viscosity in 25-degreeC is about 500 centipoises) and 2 % of the weight of photopolymerization initiators which have first the structure expression shown in following \*\* 11 were prepared, and the solution 10 of photosensitive oligomer was prepared. In addition, n in \*\* 11 is a positive integer.

[0037]

[Formula 11]



[0038] Next, as shown in drawing 1 , the shape with a width of face [ for putting optical fibers 30 and 30 on both sides / of 125 micrometers ] and a depth of 130 micrometers of V character and the rectangle slots 11b and 11b produced the platform 12 made of an epoxy resin where slot 11a for association which has a slot with a die length of 50mm was formed in the center section with a depth of 50 micrometers by width of face of 50 micrometers again. Production of a platform 12 depended on the casting method which used the metal mold master 13. The refractive index of the epoxy resin which constitutes a platform 12 was 1.52 on the wavelength of 0.85 micrometers.

[0039] On slot 11b of the both sides of the produced platform 12, and 11b, as shown in drawing 2 , adhesion immobilization of quartz GI fiber (graded index optical fiber) 30 and 30 with an outer diameter of 125 micrometers was carried out.

[0040] Furthermore, as shown in drawing 3 , the core section 41 was formed by pouring in the above-mentioned solution 10, irradiating the UV light 14, and making slot 11a for association harden a solution 10. the exposure of the UV light 14 -- 2000 mJ/cm2 it was . Moreover, the refractive index of the hardened material of a solution 10 was 1.535 on the wavelength of 0.85 micrometers.

[0041] Next, waveguide was produced by applying the epoxy oligomer adjusted so that the refractive index of a photo-curing object might be set to 1.52 on the wavelength of 0.85 micrometers, irradiating UV light, hardening this epoxy oligomer, and forming the clad section 42 on a platform 12. By this actuation, as shown in drawing 7 , it has the core section 41 with a thickness of 50 micrometers with a refractive index 1.535 with the clad section 42 which consists of an epoxy resin of a refractive index 1.52, and the multimode module with which optical fibers 30 and 30 were joined to both sides has been produced.

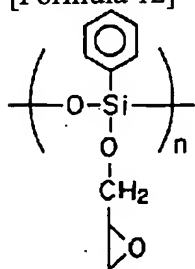
[0042] The low clad section 42 and the low platform 12 of a refractive index were formed for carrying out total reflection of the light and making it spread rather than the core section 41 on the outside of the core section 41 of a refractive index 1.535.

[0043] When the insertion loss of this module was measured, it was 3.0dB or less on 1.5dB or less and the wavelength of 1.55 micrometers in 1dB or less and the wavelength of 1.3 micrometers with the wavelength of 0.85 micrometers. Here, modular insertion loss means loss including a fiber and waveguide. As mentioned above, it turned out that the module of this example is low loss. Furthermore, loss of this module was not changed one month or more under the condition of 75 degrees C / 90%RH. That is, the module of this example was excellent in endurance. In addition, especially the core section 41 of the module of this example was excellent in moisture resistance.

[0044] (Example 2) The multimode module was produced by the same approach as an example 1 using the solution 10 which prepared the liquefied silicone epoxy oligomer expressed with the structure expression (however, n in a formula positive integer) of following \*\* 12, and 2 % of the weight of photopolymerization initiators.

[0045]

[Formula 12]

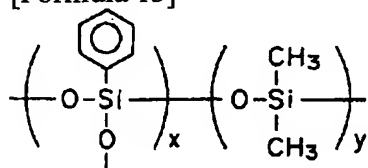


[0046] When the insertion loss of this module was measured, it was 1.5dB or less on 1.0dB or less and the wavelength of 1.55 micrometers in 1dB or less and the wavelength of 1.3 micrometers with the wavelength of 0.85 micrometers. Moreover, as for the polarization dependency of an insertion loss, the wavelength of 1.3 micrometers or the wavelength of 1.55 micrometers was 0.1dB or less. Furthermore, loss of this optical waveguide was not changed one month or more under the condition of 75 degrees C / 90%RH. In addition, especially the core section 41 of the multimode module of this example was excellent in reinforcement.

[0047] (Example 3) The solution which prepared the liquefied silicone oligomer as which a structure expression (however, x in a formula and y positive integer) is expressed in following \*\* 13, and 2 % of the weight of photopolymerization initiators was prepared.

[0048]

[Formula 13]



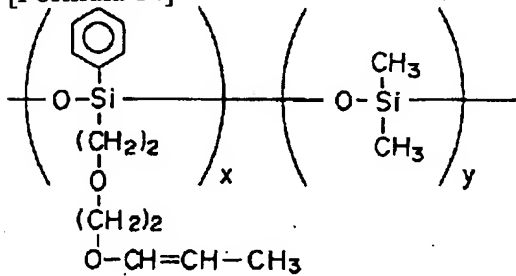
[0049] And the multimode module was produced by the same approach as an example 1. When the insertion loss of this module was measured, it was 1.5dB or less on 1.0dB or less and the wavelength of 1.55 micrometers in 1dB or less and 1.3 micrometers with the wavelength of 0.85 micrometers. Moreover, as for the polarization dependency of an insertion loss, the wavelength of 1.3 micrometers or the wavelength of 1.55 micrometers was 0.1dB or less. Furthermore, loss of this optical waveguide was not changed one month or more under the condition of 75 degrees C / 90%RH. In addition, especially the core section 41 of the multimode module of this example was excellent in thermal resistance.

[0050] (Example 4) The multimode module was produced by the same approach as an example 1 using the solution which prepared liquefied silicone vinyl ether oligomer with the structure expression

(however, x in a formula and y positive integer) expressed with following \*\* 14, and 2 % of the weight of photopolymerization initiators. When the insertion loss of this module was measured, it was 1.5dB or less on 1.0dB or less and the wavelength of 1.55 micrometers in 1dB or less and 1.3 micrometers with the wavelength m of 0.85 micrometers. Moreover, as for the polarization dependency of an insertion loss, the wavelength of 1.3 micrometers or the wavelength of 1.55 micrometers was 0.1dB or less. Furthermore, loss of this optical waveguide was not changed one month or more under the condition of 75 degrees C / 90%RH. In addition, the core section 41 of the multimode module of this example was excellent in flexibility.

[0051]

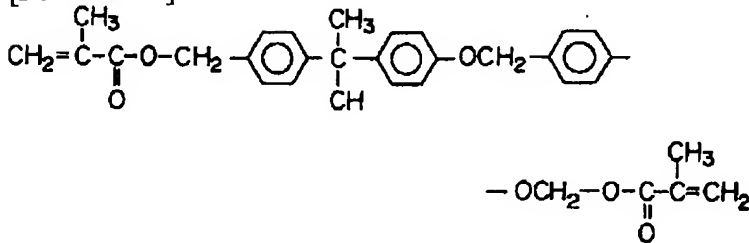
[Formula 14]



[0052] (Example 5) The solution which prepared the liquefied acrylic oligomer which has the structure expression expressed with the \*\*\*\*\*-ization 15 below, and 2 % of the weight of photopolymerization initiators was prepared.

[0053]

[Formula 15]



[0054] Next, the multimode module was produced by the same approach as an example 1 using said solution. When the insertion loss of this module was measured, it was 1.5dB or less on 1.0dB or less and the wavelength of 1.55 micrometers in 1dB or less and 1.3 micrometers with the wavelength of 0.85 micrometers. Moreover, as for the polarization dependency of an insertion loss, the wavelength of 1.3 micrometers or the wavelength of 1.55 micrometers was 0.1dB or less. Furthermore, loss of this optical waveguide was not changed one month or more under the condition of 75 degrees C / 90%RH. In addition, the core section 41 of the multimode module of this example was excellent in reinforcement.

[0055] (Example 6) The optical element shown in drawing 8 as follows was manufactured. The solution 10 which mixed the liquefied epoxy oligomer used in the example 1 and 2 % of the weight of photopolymerization initiators was prepared.

[0056] Next, the platform 12 where it has slot 11a for association with a width-of-face [ of 50 micrometers ] x depth [ of 50 micrometers ] x die length of 50mm in the abbreviation center section, and the epoxy resin with a thickness of 250 micrometers was formed in it on the substrate again in the shape with a width of face [ for putting an optical fiber 30 on one side / of 125 micrometers ] and a depth of 130 micrometers of V character and the rectangle slots 11b and 11b as shown in drawing 1 was prepared. The refractive index of this epoxy resin was 1.52 on the wavelength of 0.85 micrometers. And the GI optical fiber 30 with an outer diameter of 125 micrometers was put on slot 11b of one side, and it fixed.

[0057] Next, on both sides of the slot 11a for association, the semiconductor laser light source

(oscillation wavelength of 0.85 micrometers) 50 was placed into slot 11b of the side else.

[0058] Next, the aforementioned solution 10 was poured into slot 11a for association, UV light was irradiated, and the core section 41 was formed. an exposure -- 2000 mJ/cm<sup>2</sup> it was . The refractive index after hardening was 1.535 on the wavelength of 0.85 micrometers.

[0059] Then, the waveguide which has the clad section 42 because the refractive index of a hardened material applies and stiffens on this the epoxy oligomer which is 1.52 on the wavelength of 0.85 micrometers was produced. The waveguide component [ INTAKONEKUTO / the channel waveguide which has the clad section 42 which consists of a hardened material of the epoxy oligomer of a refractive index 1.52 by this actuation, and the core section 41 which consists of an epoxy resin of a refractive index 1.535 / component / the optical transmitting device ] was producible. When light was introduced into this waveguide, optical transmission was possible at about 0.3dB of joint loss.

[0060] (Example 7) The optical element shown in drawing 7 as follows was produced using silica optical fiber. As shown in drawing 1 , it has slot 11a for association with a width of face [ of 10 micrometers ], and a depth of 10 micrometers for the shape with a width of face [ for putting optical fibers 30 and 30 on both sides / of 125 micrometers ], and a depth of 130 micrometers of V character, and the rectangle slots 11b and 11b right in the middle again, and the platform 12 made of an epoxy resin with a thickness of 250 micrometers was prepared, and silica optical fiber (the core diameter of 10 micrometers, outer diameter of 125 micrometers) 30 and 30 was placed previously, and it fixed. Then, the core section 41 was formed by pouring in the same solution 10 as having used in the example 1, irradiating the UV light 14, and making slot 11a for association harden this solution 10. an exposure -- 2000 mJ/cm<sup>2</sup> it was . The refractive index after hardening was 1.535 on the wavelength of 0.85 micrometers.

[0061] Then, waveguide was produced by applying and hardening the epoxy oligomer adjusted so that the refractive index at the time of photo-curing might be set to 1.52 on the wavelength of 0.85 micrometers on a platform 12, and forming the clad section 42. The single module which has the core section 41 (10 micrometers) of the refractive index of the clad sections 42 and 1.535 which consists of an epoxy resin of the refractive index 1.52 with an optical fiber by this actuation was producible.

[0062] When the insertion loss of this module was measured, it was 3.0dB or less on 1.5dB or less and the wavelength of 1.55 micrometers in 1dB or less and 1.3 micrometers with the wavelength of 0.85 micrometers. Furthermore, loss of this module was not changed one month or more under the condition of 75 degrees C / 90%RH.

[0063] (Example 8) The optical element shown in drawing 7 as follows was produced using the plastic optical fiber. Right in the middle, as shown in drawing 1 , it has slot 11a for association with a width-of-face [ of 1mm ] x depth [ of 1mm ] x die length of 50mm for the shape with a width-of-face [ of 1mm ] x depth [ of 1mm ] x die length of 50mm of V character and the rectangle slots 11b and 11b for putting optical fibers 30 and 30 on both sides again, the platform 12 made of an epoxy resin with a thickness of 2mm was prepared, and plastic optical fibers (core 1mm) 30 and 30 were placed previously, and it fixed. Then, the same solution 10 as having used in the example 1 was poured in, and the UV light 14 was irradiated. an exposure -- 2000 mJ/cm<sup>2</sup> it was . The refractive index after hardening was 1.535 on the wavelength of 0.85 micrometers.

[0064] Then, the epoxy oligomer solution adjusted so that the refractive index at the time of photo-curing might be set to 1.52 on the wavelength of 0.85 micrometers on a platform was applied and hardened, and waveguide was produced. The multimode module which has the core section 41 (thickness of 1mm) of the refractive index of the clad sections 42 and 1.535 which consists of an epoxy resin of the refractive index 1.52 with an optical fiber by this actuation was producible. When the insertion loss of this module was measured, it was 3.0dB or less on 1.5dB or less and the wavelength of 1.55 micrometers in 1dB or less and 1.3 micrometers with the wavelength of 0.85 micrometers. Furthermore, loss of this module was not changed one month or more under the condition of 75 degrees C / 90%RH.

[0065] (Example 9) The optical element shown in drawing 7 as follows was produced using the polymer clad optical fiber. Right in the middle, as shown in drawing 1 , it has slot 11a for association with a

width of face [ of 200 micrometers ], and a depth of 200 micrometers for the shape with a width-of-face [ of 230 micrometers ] x depth [ of 250 micrometers ] x die length of 50mm of V character and the rectangle slots 11b and 11b for putting an optical fiber on both sides again, the platform 12 made of an epoxy resin with a thickness of 500 micrometers was prepared, and the polymer clad optical fibers (core 200micrometer, 230 micrometers of appearances) 30 and 30 were placed previously, and it fixed. Then, the same solution 10 as having used in the example 1 was poured in, and the UV light 14 was irradiated. an exposure -- 2000 mJ/cm2 it was . The refractive index after hardening was 1.535 on the wavelength of 0.85 micrometers.

[0066] Then, the epoxy oligomer solution adjusted so that the refractive index at the time of photo-curing might be set to 1.52 on the wavelength of 0.85 micrometers on a platform 12 was applied and hardened, and waveguide was produced. The multimode module which has the core section 41 (thickness of 200 micrometers) of the refractive index of the clad sections 42 and 1.535 which consists of an epoxy resin of the refractive index 1.52 with an optical fiber by this actuation was producible. When the insertion loss of this module was measured, it was 3.0dB or less on 1.5dB or less and the wavelength of 1.55 micrometers in 1dB or less and 1.3 micrometers with the wavelength of 0.85 micrometers. Furthermore, loss of this module was not changed one month or more under the condition of 75 degrees C / 90%RH.

[0067]

[Effect of the Invention] According to the manufacture approach of the optical element of this invention, as explained above, pattern formation is easy and it excels in thermal resistance and moisture resistance, and a birefringence is small and the macromolecule optical waveguide pattern for aperture conversion with which connection with optical components is made easily can be formed. The manufacture approach of these things to this invention is advantageous to application to optical waveguide die parts which are mass-produced. Therefore, it is applicable to manufacture of the various optical waveguides and the optical integrated circuit which are general optics and the microoptics field and are used in the field of optical communication or optical information processing, or an optical patchboard.

[Explanation of an easy drawing]

[Drawing 1] It is the perspective view showing a platform.

[Drawing 2] It is the perspective view showing the condition of having carried the optical fiber in the platform.

[Drawing 3] It is a perspective view explaining the example of the manufacture approach of the optical element of this invention.

[Drawing 4] It is the perspective view showing the example of the metal mold master for platform production.

[Drawing 5] It is the perspective view showing other examples of the manufacture approach of the optical element of this invention.

[Drawing 6] It is the perspective view showing other examples of the metal mold master for platform production.

[Drawing 7] It is the sectional view showing an example of an optical element.

[Drawing 8] It is the sectional view showing other examples of an optical element.

[Description of Notations]

10 [ .. A platform, 13 / .. A metal mold master, 14 / .. UV light, 30 / .. An optical fiber, 31 / .. The core of an optical fiber 41 / .. The core section, 42 / .. The clad section, 50 / .. Component ] .. The solution of photosensitive oligomer, 11a .. The slot for association, 11b .. The slot for loading, 12

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-23886

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月29日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 2 B 6/26

G 0 2 B 6/26

6/13

6/42

6/12

6/12

M

6/42

N

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平9-178599

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月3日

(71) 出願人 000004226 -

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 今村 三郎

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 都丸 暁

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 栗原 隆

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

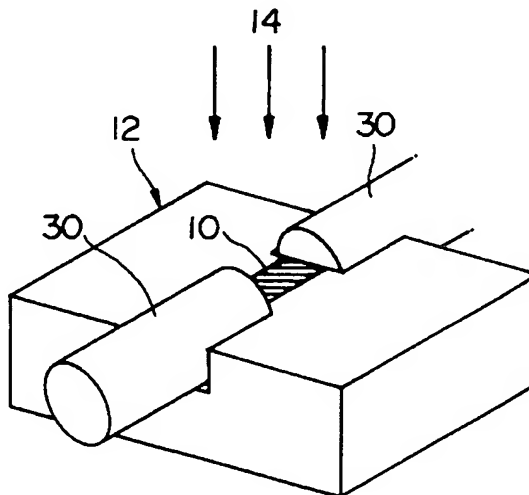
(74) 代理人 弁理士 志賀 正武

(54) 【発明の名称】 光学素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 バタン形成が容易で、耐熱性、耐湿性に優れ、低損失の光学素子を得ることができる光学素子の製造方法を提供すること。

【解決手段】 樹脂製プラットフォーム12に結合用溝11aを形成し、該結合用溝11aに連結してその両側に搭載用溝11b、11bを形成する工程と、搭載用溝11b、11bに光ファイバ30、30或いは光ファイバ30と素子50とを搭載する工程と、結合用溝11aに液状の感光性物質10を注入し光硬化させてコア部41を形成し、該コア部41を覆うように感光性物質を用いてクラッド部42を形成して、光ファイバ30、30間、或いは、光ファイバ30と素子50とを光結合させて導波路とする工程と、を含む光学素子の製造方法であって、前記感光性物質が液状の感光性オリゴマーである光学素子の製造方法である。



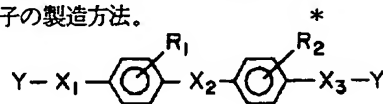


1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 樹脂製のプラットフォームに結合用溝を形成し、前記結合用溝に連結するようにその両側に搭載用溝を形成する工程と、前記搭載用溝に光ファイバを搭載する工程と、前記結合用溝に感光性物質を充たし光硬化させてコア部を形成し、さらに前記コア部を覆うクラッド部を形成して前記光ファイバ間を光結合させる導波路とする工程とより成る光学素子の製造方法であって、前記感光性物質が液状の感光性オリゴマーであることを特徴とする光学素子の製造方法。

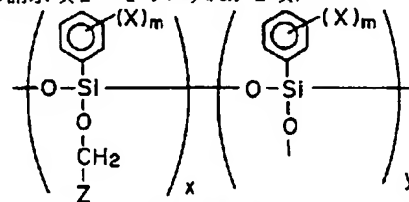
【請求項2】 前記結合用溝の断面寸法が光ファイバのコア径と整合するように設定されていることを特徴とする請求項1記載の光学素子の製造方法。



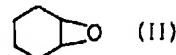
(式中、 $R_1$ 、 $R_2$ はそれぞれ独立に水素原子、ハロゲン原子、アルキル基、アルコキシル基または、トリフルオロメチル基を示し、 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ はアルキル基、アルキルエーテル基または芳香環を含んでおり、かつ少なくとも一個のOH基を含む連結基を表し、

$Y$ は  または  の重合活性基を示す。)

【請求項6】 感光性オリゴマーが下記の化2で表される一般式を有する反応性シリコンエポキシオリゴマーであることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に※

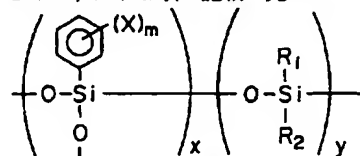


(式中、 $X$ は水素原子、重水素原子、ハロゲン原子、アルキル基またはアルコキシル基を表し、 $m$ は1～4の整数を表す。 $Z$ は下記式(I)または(II)に示されるエポキシ基である。



$x$ 、 $y$ は整数で各ユニットの存在割合を示し、 $y$ は $x$ よりも小さく0であってもよい。)

【請求項7】 感光性オリゴマーが下記の化3で表される一般式を有する反応性シリコンオリゴマーであることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の光★40



(式中、 $X$ は水素原子、重水素原子、ハロゲン原子、アルキル基またはアルコキシル基を表し、 $m$ は1～4の整数を表す。 $x$ 、 $y$ は整数で各ユニットの存在割合を示し、 $x$ 、 $y$ はともに0であることはない。 $R_1$ 、 $R_2$ はメチル基、エチル基またはイソプロピル基を表し、 $R_1$ と $R_2$ が相等しくてもよい。)

2

\*【請求項3】 前記光ファイバがポリマークラッド光ファイバ、石英系光ファイバ、プラスチック光ファイバの中から選ばれた光ファイバであることを特徴とする請求項1または2記載の光学素子の製造方法。

【請求項4】 前記光ファイバの一方を、発光素子もしくは受光素子に代えたことを特徴とする請求項1または2記載の光学素子の製造方法。

【請求項5】 感光性オリゴマーが下記の化1で表される一般式を有するエポキシオリゴマーであることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の光学素子の製造方法。

【化1】

※記載の光学素子の製造方法。

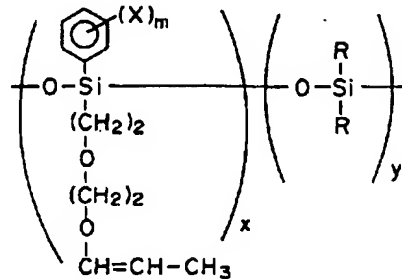
【化2】

★学素子の製造方法。

【化3】

【請求項8】 感光性オリゴマーが下記の化4で表される一般式を有する液状シリコンビニルエーテルオリゴマーであることを特徴とする請求項1～4のいずれか1\*

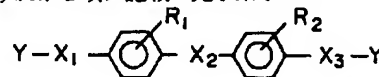
\*項に記載の光学素子の製造方法。  
【化4】



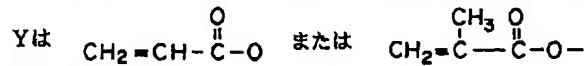
(式中、Xは水素原子、重水素原子、ハロゲン原子、アルキル基またはアルコキシ基を表し、mは1～4の整数を表す。x、yは整数で各ユニットの存在割合を示し、x、yともに0であることはない。Rはメチル基、エチル基、またはイソプロピル基を表す。)

【請求項9】 感光性オリゴマーが下記の化5で表される一般式を有するアクリルオリゴマーであることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の光学素子の※

※製造方法。  
【化5】



(式中、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>はそれぞれ独立に水素原子、ハロゲン原子、アルキル基、アルコキシ基または、トリフルオロメチル基を示し、X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>はアルキル基、アルキルエーテル基または芳香環を含んでいる連結基を表し、



の重合活性基を示す。)

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高分子材料を用いた光導波路に関するものであり、一般光学や微小光学分野で、また、光通信や光情報処理の分野で用いられる種々の光導波路、光集積回路又は光配線板等に利用できる。

##### 【0002】

【従来の技術】光情報処理、光通信分野で用いる光学素子は集積化、微小化、高機能化、低価格化をめざして近年検討が盛んになってきており、特に光導波路型素子は上記の目的を満足するものとして研究段階で検討が活発化している。実際にこれらある程度満足する石英系光導波路素子が光通信分野の一部では実用化されるに至っている。例えば、河内 正夫(発表者)、NTT R&D vol. 43 No. 11 p. 101(1994)の文献に記載されている。

##### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特に実装・組み立てには多大な労力と時間がかかること、複雑な専用装置があること等から導波路型にした光学素子がさまざまな分野にまで普及していないのが現状である。★50

★また、上記の点から組み立てには、高度の熟練技術が必要なため、一般家庭にまで普及している電気関連部品の取り扱いと異なり、家庭でも取り扱える様な簡単な光学素子は皆無であるというのが現状である。

【0004】ところで、光デバイスでは経済性が重要となるが、導波路と光ファイバあるいは発光素子、受光素子を接続することがコストの主要因になっている。これまでの接続は光ファイバをおくV溝や導波路あるいは発光素子、受光素子をブロック構造とし、光軸が一致するようにこれらを微動調心し、固定することにより行われてきた。またこれらを載せるプラットフォームを形成し、後で発光素子、受光素子等の素子を置きアライメントすることもなされてきている。しかしこれらの場合組立作業が煩雑であり、材料費・加工費とも高価となる。

【0005】本発明はこのような現状に鑑みてなされたものであり、その目的は、光学素子の低価格化と、使用分野の拡大の障害の要因の一つである実装組み立てを簡便にしかつ低価格化を図ることにある。また、パタン形成が容易で、耐熱性、耐湿性等に優れ、低損失の光学素子を得ることができ、また、光部品との接続が容易に行われる光学素子の製造方法を提供することにある。

##### 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、樹脂製のプラットフォームに結合用溝を形成し、前記結合用溝に連結するようにその両側に搭載用溝を形成する工程と、前記搭載用溝に光ファイバを搭載する工程と、前記結合用溝に感光性物質を充たし光硬化させてコア部を形成し、さらに前記コア部を覆うクラッド部を形成して前記光ファイバ間を光結合させる導波路とする工程とより成る光学素子の製造方法であって、前記感光性物質が液状の感光性オリゴマーであることを特徴とする光学素子の製造方法にある。

【0007】本発明者らは、まずプラットフォームとして樹脂を用いたことにより、その高弾性のため溝への光ファイバの固定が強固となること、また感光性オリゴマーが、簡易なパタン形成能を持ち、また耐熱性及び耐湿性に優れ、低損失で、光部品との接続が容易に行われる光学素子用高分子光導波路パタンを形成できることを見出し、本発明を完成するに至った。

【0008】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を説明する。図1は本発明の光学素子の製造方法に用いるプラットフォームを示す斜視図であり、図2はプラットフォームに光ファイバを搭載した状態を示す斜視図であり、図3は本発明の光学素子の製造方法の一例を説明するための斜視図であり、図7は本発明の製造方法に係わる光学素子の一例を示す断面図であり、図8は光学素子の他の例を示す断面図である。本発明の光学素子の製造方法の例は、図1に示すように樹脂製のプラットフォーム12の少なくとも一面に、例えば上面中央部に結合用溝11aを形成し、該結合用溝11aに連結してその両側に搭載用溝11b、11bを形成する工程と、図2に示すように前記搭載用溝11b、11bに光ファイバ30、30或いは光ファイバ30と素子50とを搭載する工程と、図3、図7、図8に示すように前記結合用溝11aに液状の感光性物質10を注入し光硬化させてコア部41を形成し、さらに該コア部41を覆うように感光性物質を用いてクラッド部42を形成して、前記光ファイバ30、30間、或いは、光ファイバ30と素子50とを光結合させて導波路とする工程と、を含む光学素子の製造方法であって、前記感光性物質が液状の感光性オリゴマーである光学素子の製造方法である。

【0009】本発明の製造方法に係わる光学素子は、図7、図8に示すように、樹脂製のプラットフォーム12と、光ファイバ30、30又は光ファイバ30と素子50とが感光性オリゴマー10の硬化物により一体的に接合（結合）され、感光性オリゴマーの硬化物はプラットフォーム12の一面側にコア部41と、該コア部41の上にクラッド部42とを形成し、光ファイバのコア31を通った光がコア部41に直接入光するように、或いは、コア部41を通った光が光ファイバのコア31に直接入光するようにされている光学素子である。

【0010】本発明の製造方法においては、図1に示すように、結合用溝11aと搭載用溝11b、11bとを形成された樹脂製のプラットフォーム12が準備される。結合用溝11aは光ファイバ30同士、或いは光ファイバ30と素子50との光結合のために形成される溝であり、搭載用溝11b、11bは光ファイバ30或いは素子50を搭載すために形成される溝である。

【0011】プラットフォーム12は感光性物質に対して良好な接着性を示す樹脂、例えばエポキシ樹脂、シリコン樹脂、アクリル樹脂を用いて構成される。樹脂製の溝に関しては多種多様の作製法が使用できる。例えばリソグラフィとエッチングを組み合わせたもの、鋸やダイシングソーなどの切削加工によるもの、金型による成形などが代表的なものであるがその加工精度、使用用途、使用量等によって、プラットフォーム作製法は選択されるべきである。

【0012】結合用溝11aとしては、特に光ファイバ30との接続損失を低下させるために、クラッド部42の膜厚を考慮した導波路を作製できる矩形構造が好ましい。例えば直線導波路を作製する場合、図4に示すような金型マスター13を作製し、これをもとに成形することで光ファイバ30を搭載するための矩形溝11b、11bと光ファイバのコア31の形状を考慮した矩形溝11aを持つプラットフォームを作製できる。

【0013】より複雑なパタン形状、例えばY分岐導波路作製においては、図5に示すように、Y字形状の結合用溝11aを有するプラットフォームを用い、Y字形状の結合用溝11aに感光性オリゴマーの溶液10を注入することで製造できる。Y字形状の結合用溝11aを有するプラットフォームは、図6に示すような金型マスター13を用いることで製造できる。

【0014】搭載用溝11bの形状は光ファイバ30の形状等により決定されるが、断面形状がV字状或いは矩形である溝であることが好ましい。搭載用溝11bの幅を約50 $\mu$ m～5mm、その深さを約50 $\mu$ m～5mmとすることができる。

【0015】結合用溝11aの幅を搭載用溝11bの幅よりも小さくすると、搭載する光ファイバ30の位置決めがし易く、また感光性オリゴマーの注入がし易い。結合用溝11aの形状、寸法は光ファイバ30の形状、寸法、或いは材質等により決定されるが、V字状溝或いは矩形溝であることが好ましく、その幅を約3 $\mu$ m～5mm、深さdを約3 $\mu$ m～5mm、長さを約5～100mmとすることができる。結合用溝11aの長さが前記範囲であると接続損失が少ない、或いは、光ファイバを搭載し易い、位置決めがし易い。

【0016】結合用溝11aの断面寸法を光ファイバのコア31の径と整合するように設定することが好ましい。整合とは、光ファイバのコア31を透過した光がクラッド部42に直接入光するのではなく、コア部41に

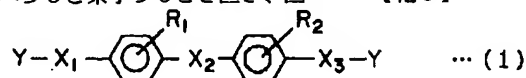
直接入光できるようにされていることを意味する。

【0017】搭載用溝11bの少なくとも一方には、光ファイバ30が搭載される。この光ファイバは、ポリマークラッド光ファイバ、石英系光ファイバ、プラスチック光ファイバの中から選ばれることが好ましい。ポリマークラッド光ファイバとはコアを石英ガラスでクラッドをプラスチックで構成したものをいい、この光ファイバを本発明において用いると、大口径で接続し易いという特徴を持つ光学素子が得られる。石英系光ファイバとはコア、クラッドとも石英ガラスで構成したものをいい、この光ファイバを用いると、大容量の光学素子が得られる。プラスチック光ファイバとはコア、クラッドともプラスチックで構成したものをいい、この光ファイバを用いると、大口径で強度の大きい光学素子が得られる。



【0018】搭載用溝11bの一方に、レーザーダイオード(LD)、発光ダイオード(LED)、受光ダイオード(PD)等の発光素子もしくは受光素子等の素子を搭載すれば、図8に示すように、光ファイバ30の一端に、素子50がコア部41とクラッド部42とにより接合され、光ファイバ30と素子50とプラットフォーム12とが感光性オリゴマーの硬化物で一体化されている光学素子を得ることができる。

【0019】素子50として、レーザーダイオードを用いれば光強度の大きい光学素子が、発光ダイオード、受光ダイオードを用いれば、長寿命で低コストの光学素子が得られる。

【0020】搭載用溝11b、11bに光ファイバ30、30或いは光ファイバ30と素子50とを置き、図\*



(式中、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>はそれぞれ独立に水素原子、ハロゲン原子、アルキル基、アルコキシ基または、トリフルオロメチル基を示し、X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>はアルキル基、アルキルエーテル基または芳香環を含んでおり、かつ少なくとも一個のOH基を含む連結基を表し、

Yは  または  の重合活性基を示す。)

【0024】エポキシオリゴマーは耐熱性、耐湿性に優れたコア部を与える点で好ましい。エポキシオリゴマーとして、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>が水素原子又は炭素数1~5のアルキル基であって、X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>のいずれもがアルキルエーテル基を含み、且つ少なくとも一個のヒドロキシル基を含むものは、樹脂製プラットフォームとの接着性に優※

\*3或いは図5に示すように結合用溝11aに、液状の感光性オリゴマーの溶液10を注射器等を用いて注入し、該オリゴマー溶液10に紫外線を照射し硬化することで、コア部41を形成する。更に前記コア部41の上に、エポキシオリゴマー等の感光性オリゴマーを塗布し硬化させることで、コア部41よりも低い屈折率を有するクラッド部42を形成する。クラッド部42の厚みは約15~50μmとすることができる。

【0021】本発明においては感光性物質として、常温で液状の感光性オリゴマーを用いる。感光性オリゴマーは、構造成分の調整により、正確な屈折率の制御が可能であり、また重合度の調整により、コア部の形成工程に対応した適当な粘性と紫外線硬化性をとることができる。

【0022】感光性オリゴマー(光硬化性オリゴマー)として、エポキシオリゴマー、反応性シリコンエポキシオリゴマー等のエポキシ形オリゴマー、反応性シリコンオリゴマー、液状シリコンビニルエーテルオリゴマー等のシリコン系オリゴマー、アクリルオリゴマーのいずれかであることが好ましい。感光性オリゴマーは約200~5000の数平均分子量を持つことが好ましく、25°Cで約100~1000cp(センチポイズ)の粘度を有する液状のものが好ましい。このような粘度であれば、結合用溝11aに注入し易く、取扱が容易である。

【0023】エポキシオリゴマーとして、一般式が下記の化6で表されるものを用いることができる。

【化6】

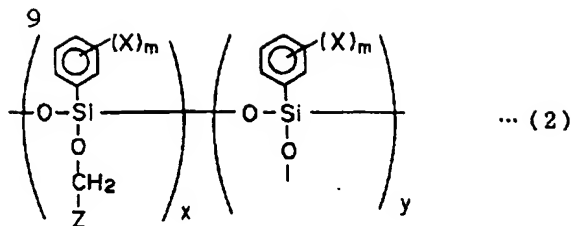
※れる。

【0025】反応性シリコンエポキシオリゴマーとして、一般式が下記の化7で表されるものを用いることができる。

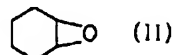
【化7】

(6)

10



(式中、Xは水素原子、重水素原子、ハロゲン原子、アルキル基またはアルコキシ基を表し、mは1~4の整数を表す。Zは下記式(I)または(II)に示されるエポキシ基である。)

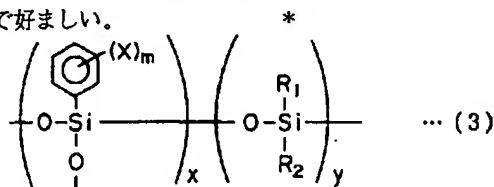


x、yは整数で各ユニットの存在割合を示し、yはxよりも小さく0であってよい。)

【0026】反応性シリコンエポキシオリゴマーは、耐熱性、強度に優れたコア部を与えることができる。反応性シリコンエポキシオリゴマーとして、Xが水素原子又は炭素数1~5のアルキル基であるものは、可撓性に優れたコア部を与える点で好ましい。

\*【0027】反応性シリコンエポキシオリゴマーとして、一般式が下記の化8で表されるものを用いることができる。

【化8】



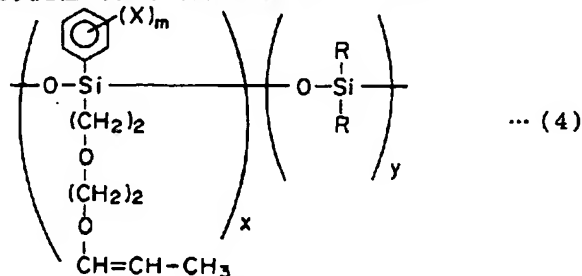
(式中、Xは水素原子、重水素原子、ハロゲン原子、アルキル基またはアルコキシ基を表し、mは1~4の整数を表す。x、yは整数で各ユニットの存在割合を示し、x、yはともに0であることはない。R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>はメチル基、エチル基またはイソプロピル基を表し、R<sub>1</sub>とR<sub>2</sub>が相等しくてもよい。)

【0028】反応性シリコンオリゴマーは、耐熱性、強度に優れたコア部を与えることができる。反応性シリコンオリゴマーとして、Xが水素原子又は炭素数1~5のアルキル基であって、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>が共に炭素数1~5のアルキル基であるものは反応性に富み、可撓性に優れ※

※たコア部を与える。

【0029】液状シリコンビニルエーテルオリゴマーとして、一般式が下記の化9で表されるものを用いることができる。

【化9】



(式中、Xは水素原子、重水素原子、ハロゲン原子、アルキル基またはアルコキシ基を表し、mは1~4の整数を表す。x、yは整数で各ユニットの存在割合を示し、x、yともに0であることはない。Rはメチル基、エチル基、またはイソプロピル基を表す。)

【0030】液状シリコンビニルエーテルオリゴマーは耐熱性に優れたコア部を与えることができる。液状シリコンビニルエーテルオリゴマーとして、Xが水素原子又は炭素数1~5のアルキル基であって、Rが炭素数1~5のアルキル基であるものは可撓性に優れたコア部★50

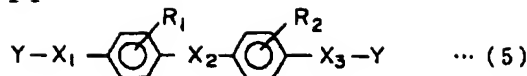
★を与える点で好ましい。

【0031】アクリルオリゴマーとして、一般式が下記の化10で表されるものを用いることができる。

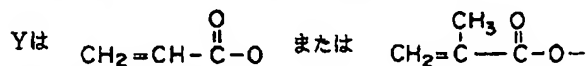
【化10】

11

12



(式中、 $R_1$ 、 $R_2$ はそれぞれ独立に水素原子、ハロゲン原子、アルキル基、アルコキシ基または、トリフルオロメチル基を示し、 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ はアルキル基、アルキルエーテル基または芳香環を含んでいる連結基を表し、



の重合活性基を示す。)

【0032】アクリルオリゴマーは反応性に富み、透明性に優れたコア部を与えることができる。アクリルオリゴマーとして、 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ のいずれもがアルキルエーテル基又は芳香環を含み、 $R_1$ 、 $R_2$ が共に水素原子炭素数1〜5のアルキル基であるものは、可撓性に優れたコア部を与えることができる点で好ましい。

【0033】前記のエポキシ形オリゴマーの高分子化は、化6、化7で表される一般式中に含まれる重合活性基(エポキシ基など)間の光による反応によって重合することで行われる。反応を効率よく十分に起こさせるためには光重合開始剤を添加することが望ましい。光重合開始剤としては、一般に光重合開始剤として用いられているものであればよく、ジフェニルトリケトンベンゾイン、ベンゾインメチルエーテル、ベンゾフェノン、アセトフェノン、ジアセチル等のカルボニル化合物や過酸化ベンゾイルなどの過氧化物、アゾビスイソブチロニトリルなどのアゾ化合物が代表的なものとして挙げられる。

【0034】前記のシリコン系オリゴマーの高分子化は感光剤とオリゴマーの反応による。感光剤としては、\*

10 \* アジドヒレンなどのアジド化合物、4、4'-ジアジドベンザルアセトン、2、6-ジ(4'-アジドベンザル)シクロヘキサノン、2、6-ジ(4'-アジドベンザル)-4-メチルシクロヘキサノンなどのビスアジド化合物ジアゾ化合物が代表的なものである。

【0035】本発明によって得られた光導波路は耐溶剤性に優れ、かつ低導波損失で、耐熱性、耐湿性に優れている。

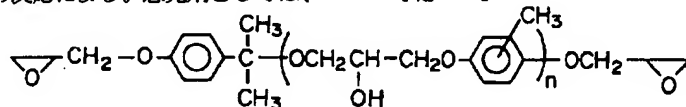
【0036】

【実施例】本発明を実施例により更に具体的に説明するが、本発明はこれら実施例に限定されない。

(実施例1) 次のようにして図7に示す光学素子を製造した。本実施例では、まず、以下の化11に示した構造式を有する液状のエポキシオリゴマー(25°Cにおける粘度が約500センチポイズ)と光重合開始剤2重量%とを混合して、感光性オリゴマーの溶液10を準備した。なお、化11におけるnは正の整数である。

【0037】

【化11】



【0038】次に、図1に示すように、両側に光ファイバ30、30を置くための幅125μm、深さ130μmのV字状あるいは矩形溝11b、11bが、また中央部には幅50μmで深さ50μmで、長さ50mmの溝部を有する結合用溝11aが形成されたエポキシ樹脂製のプラットフォーム12を作製した。プラットフォーム12の作製は金型マスター13を用いた成型法に依った。プラットフォーム12を構成するエポキシ樹脂の屈折率は波長0.85μmで1.52であった。

【0039】作製したプラットフォーム12の両側の溝11b、11b上に、外径125μmの石英GIファイバ(グレーデッド形光ファイバ)30、30を、図2に示すように接着固定した。

【0040】さらに、図3に示すように、結合用溝11aに、上記溶液10を注入して、UV光14を照射して溶液10を硬化させることで、コア部41を形成した。UV光14の照射量は2000mJ/cm<sup>2</sup>であった。また、溶液10の硬化物の屈折率は波長0.85μmで※50

※1.535であった。

【0041】次に、プラットフォーム12上に、光硬化物の屈折率が波長0.85μmで1.52となるように調整されたエポキシオリゴマーを塗布し、UV光を照射して該エポキシオリゴマーを硬化し、クラッド部42を形成することで、導波路を作製した。この操作により、図7に示すように屈折率1.52のエポキシ樹脂からなるクラッド部42と、屈折率1.535で厚み50μmのコア部41とを有し、両側に光ファイバ30、30が接合されたマルチモードモジュールを作製できた。

【0042】屈折率1.535のコア部41の外側に、コア部41よりも屈折率の低いクラッド部42とプラットフォーム12とを形成したのは、光を全反射させて伝搬させるためである。

【0043】このモジュールの挿入損を測定したところ、波長0.85μmで1dB以下、波長1.3μmで1.5dB以下、波長1.55μmで3.0dB以下であった。ここで、モジュールの挿入損とは、ファイバ、

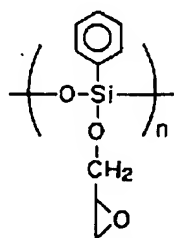
13

導波路を含めた損失をいう。以上より、本例のモジュールは低損失であることが判った。更に、このモジュールの損失は75℃/90%RHの条件下においても1箇月以上変動しなかった。則ち、本例のモジュールは耐久性に優れた。なお、本例のモジュールのコア部41は耐湿性に特に優れた。

【0044】(実施例2)下記の化12の構造式(但し、式中のnは正の整数)で表される液状のシリコーンエポキシオリゴマーと光重合開始剤2重量%とを調合した溶液10を用い、実施例1と同様な方法により、マルチモードモジュールを作製した。

【0045】

【化12】

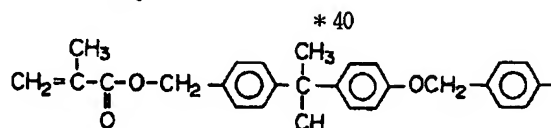
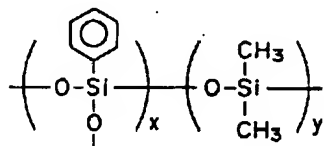


【0046】このモジュールの挿入損失を測定したところ、波長0.85μmで1dB以下、波長1.3μmで1.0dB以下、波長1.55μmで1.5dB以下であった。また、挿入損失の偏波依存性は波長1.3μmでも波長1.55μmでも0.1dB以下であった。更に、この光導波路の損失は75℃/90%RHの条件下においても1箇月以上変動しなかった。なお、本例のマルチモードモジュールのコア部41は強度に特に優れた。

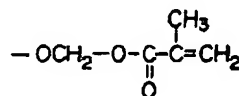
【0047】(実施例3)下記の化13で構造式(但し、式中のx、yは正の整数)が表される液状のシリコーンオリゴマーと光重合開始剤2重量%とを調合した溶液を準備した。

【0048】

【化13】



\* 40



【0054】次に、前記溶液を用い、実施例1と同様な方法によりマルチモードモジュールを作製した。このモジュールの挿入損失を測定したところ、波長0.85μm

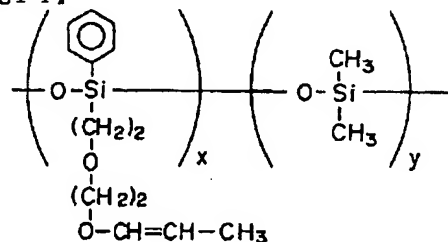
14

\*【0049】そして、実施例1と同様な方法により、マルチモードモジュールを作製した。このモジュールの挿入損失を測定したところ、波長0.85μmで1dB以下、1.3μmで1.0dB以下、波長1.55μmで1.5dB以下であった。また、挿入損失の偏波依存性は波長1.3μmでも波長1.55μmでも0.1dB以下であった。更に、この光導波路の損失は75℃/90%RHの条件下においても1箇月以上変動しなかった。なお、本例のマルチモードモジュールのコア部41は耐熱性に特に優れた。

【0050】(実施例4)下記の化14で表される構造式(但し、式中のx、yは正の整数)を持つ液状のシリコーンビニルエーテルオリゴマーと光重合開始剤2重量%とを調合した溶液を用い、実施例1と同様な方法によりマルチモードモジュールを作製した。このモジュールの挿入損失を測定したところ、波長0.85μmで1dB以下、1.3μmで1.0dB以下、波長1.55μmで1.5dB以下であった。また、挿入損失の偏波依存性は波長1.3μmでも波長1.55μmでも0.1dB以下であった。更に、この光導波路の損失は75℃/90%RHの条件下においても1箇月以上変動しなかった。なお、本例のマルチモードモジュールのコア部41は可撓性に優れた。

【0051】

【化14】



【0052】(実施例5)以下に示した化15で表される構造式を有する液状のアクリルオリゴマーと光重合開始剤2重量%とを調合した溶液を準備した。

【0053】

【化15】

※mで1dB以下、1.3μmで1.0dB以下、波長1.55μmで1.5dB以下であった。また、挿入損失の偏波依存性は波長1.3μmでも波長1.55μm

15

でも0.1dB以下であった。更に、この光導波路の損失は75℃/90%RHの条件下においても1箇月以上変動しなかった。なお、本例のマルチモードモジュールのコア部41は強度に優れた。

【0055】(実施例6)次のようにして図8に示す光学素子を製造した。実施例1で用いた液状のエポキシオリゴマーと光重合開始剤2重量%を混合した溶液10を準備した。

【0056】次に、片側に光ファイバ30を置くための、幅125 $\mu$ m、深さ130 $\mu$ mのV字状あるいは矩形溝11b、11bを、また略中央部に、図1に示すように、幅50 $\mu$ m×深さ50 $\mu$ m×長さ50mmの結合用溝11aを有し、厚さ250 $\mu$ mのエポキシ樹脂が基板上に形成されたプラットフォーム12を用意した。このエポキシ樹脂の屈折率は波長0.85 $\mu$ mで1.52であった。そして、外径125 $\mu$ mのGI光ファイバ30を片側の溝11bに置き固定した。

【0057】次に、その結合用溝11aをはさんで半導体レーザ光源(発振波長0.85 $\mu$ m)50を、他の側の溝11b内に置いた。

【0058】次に、結合用溝11aに前記の溶液10を注入し、UV光を照射して、コア部41を形成した。照射量は2000mJ/cm<sup>2</sup>であった。硬化後の屈折率は波長0.85 $\mu$ mで1.535であった。

【0059】その後、この上に硬化物の屈折率が波長0.85 $\mu$ mで1.52であるエポキシオリゴマーを塗布し、硬化させることでクラッド部42を有する導波路を作製した。この操作により屈折率1.52のエポキシオリゴマーの硬化物からなるクラッド部42と、屈折率1.535のエポキシ樹脂からなるコア部41とを有するチャンネル導波路で光送信デバイスをインターコネクトした導波路素子が作製できた。この導波路に光を導入したところ、結合損失0.3dB程度で光送信が可能であった。

【0060】(実施例7)次のようにして、図7に示す光学素子を石英光ファイバを用いて作製した。図1に示すように、両側に光ファイバ30、30を置くための、幅125 $\mu$ m、深さ130 $\mu$ mのV字状あるいは矩形溝11b、11bを、また真ん中に幅10 $\mu$ m、深さ10 $\mu$ mの結合用溝11aを有し厚さ250 $\mu$ mのエポキシ樹脂製プラットフォーム12を用意し、先に石英光ファイバ(コア径10 $\mu$ m、外径125 $\mu$ m)30、30を置き固定しておいた。その後、結合用溝11aに、実施例1で用いたのと同じ溶液10を注入し、UV光14を照射し、該溶液10を硬化させることで、コア部41を形成した。照射量は2000mJ/cm<sup>2</sup>であった。硬化後の屈折率は波長0.85 $\mu$ mで1.535であった。

【0061】その後、プラットフォーム12上に光硬化時の屈折率が波長0.85 $\mu$ mで1.52になるように

16

調整されたエポキシオリゴマーを塗布して硬化してクラッド部42を形成することで、導波路を作製した。この操作により光ファイバ付きの屈折率1.52のエポキシ樹脂からなるクラッド部42と、1.535の屈折率のコア部41(10 $\mu$ m)を有するシングルモジュールが作製できた。

【0062】このモジュールの挿入損失を測定したところ、波長0.85 $\mu$ mで1dB以下、1.3 $\mu$ mで1.5dB以下、波長1.55 $\mu$ mで3.0dB以下であった。更に、このモジュールの損失は75℃/90%RHの条件下においても1箇月以上変動しなかった。

【0063】(実施例8)次のようにして、図7に示す光学素子をプラスチック光ファイバを用いて作製した。両側に光ファイバ30、30を置くための、幅1mm×深さ1mm×長さ50mmのV字状あるいは矩形溝11b、11bを、また真ん中に図1に示したように幅1mm×深さ1mm×長さ50mmの結合用溝11aを有し厚さ2mmのエポキシ樹脂製プラットフォーム12を用意し、先にプラスチック光ファイバ(コア1mm)30、30を置き固定しておいた。その後、実施例1で用いたのと同じ溶液10を注入し、UV光14を照射した。照射量は2000mJ/cm<sup>2</sup>であった。硬化後の屈折率は波長0.85 $\mu$ mで1.535であった。

【0064】その後、プラットフォーム上に光硬化時の屈折率が波長0.85 $\mu$ mで1.52になるように調整されたエポキシオリゴマー溶液を塗布して硬化し、導波路を作製した。この操作により光ファイバ付きの屈折率1.52のエポキシ樹脂からなるクラッド部42と、1.535の屈折率のコア部41(厚み1mm)とを有するマルチモードモジュールが作製できた。このモジュールの挿入損失を測定したところ、波長0.85 $\mu$ mで1dB以下、1.3 $\mu$ mで1.5dB以下、波長1.55 $\mu$ mで3.0dB以下であった。更に、このモジュールの損失は75℃/90%RHの条件下においても1箇月以上変動しなかった。

【0065】(実施例9)次のようにして、図7に示す光学素子をポリマークラッド光ファイバを用いて作製した。両側に光ファイバを置くための、幅230 $\mu$ m×深さ250 $\mu$ m×長さ50mmのV字状あるいは矩形溝11b、11bを、また真ん中に図1に示したように幅200 $\mu$ m、深さ200 $\mu$ mの結合用溝11aを有し厚さ500 $\mu$ mのエポキシ樹脂製プラットフォーム12を用意し、先にポリマークラッド光ファイバ(コア200 $\mu$ m、外形230 $\mu$ m)30、30を置き固定しておいた。その後、実施例1で用いたのと同じ溶液10を注入し、UV光14を照射した。照射量は2000mJ/cm<sup>2</sup>であった。硬化後の屈折率は波長0.85 $\mu$ mで1.535であった。

【0066】その後、プラットフォーム12上に光硬化時の屈折率が波長0.85 $\mu$ mで1.52になるように

50



17

調整されたエポキシオリゴマー溶液を塗布して硬化し、導波路を作製した。この操作により光ファイバ付きの屈折率1.52のエポキシ樹脂からなるクラッド部42と、1.535の屈折率のコア部41(厚み200 $\mu$ m)とを有するマルチモードモジュールが作製できた。このモジュールの挿入損失を測定したところ、波長0.85 $\mu$ mで1dB以下、1.3 $\mu$ mで1.5dB以下、波長1.55 $\mu$ mで3.0dB以下であった。更に、このモジュールの損失は75℃/90%RHの条件下においても1箇月以上変動しなかった。

【0067】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光学素子の製造方法によれば、ボタン形成が容易であり、また耐熱性及び耐湿性に優れ、複屈折が小さく、光部品との接続が容易に行われる口径変換用高分子光導波路ボタンを形成できる。これらのことから、本発明の製造方法は、量産するような光導波路型部品への適用に有利である。したがって、一般光学や微小光学分野で、また、光通信や光情報処理の分野で用いられる種々の光導波路、光集積回路又は光配線板等の製造に適用できる。

18

【簡単な図面の説明】

【図1】 プラットフォームを示す斜視図である。

【図2】 プラットフォームに光ファイバを搭載した状態を示す斜視図である。

【図3】 本発明の光学素子の製造方法の例を説明する斜視図である。

【図4】 プラットフォーム作製用の金型マスターの例を示す斜視図である。

【図5】 本発明の光学素子の製造方法の他の例を示す斜視図である。

【図6】 プラットフォーム作製用の金型マスターの他の例を示す斜視図である。

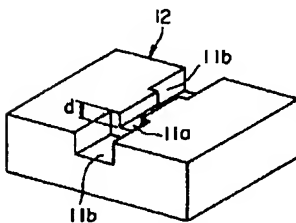
【図7】 光学素子の一例を示す断面図である。

【図8】 光学素子の他の例を示す断面図である。

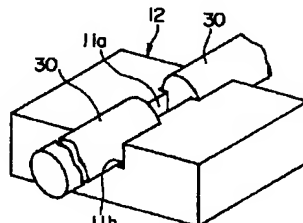
【符号の説明】

10・・・感光性オリゴマーの溶液、11a・・・結合用溝、11b・・・搭載用溝、12・・・プラットフォーム、13・・・金型マスター、14・・・UV光、30・・・光ファイバ、31・・・光ファイバのコア、41・・・コア部、42・・・クラッド部、50・・・素子

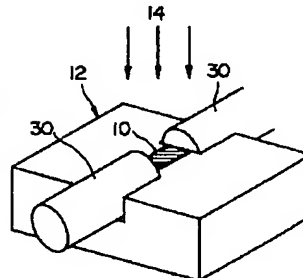
【図1】



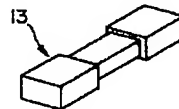
【図2】



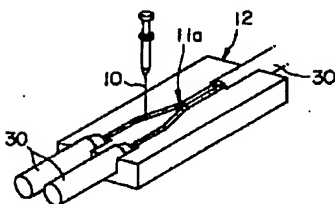
【図3】



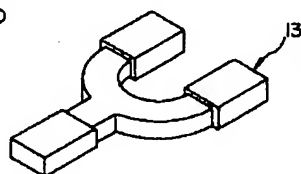
【図4】



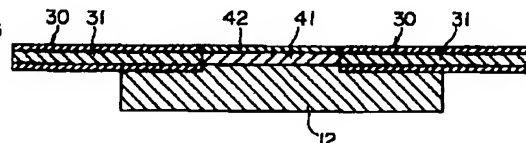
【図5】



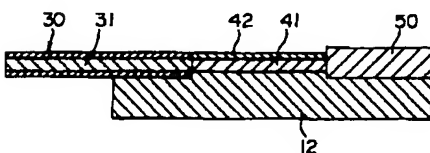
【図6】



【図7】



【図8】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**